



B. Rieger

Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Dresden, Deutschland

SENDS-Kriterien als Entwicklungstheorem der MAST-Prozeduren

Einführung präoperativer Simulation

Durch technische Weiterentwicklungen vollzieht sich in zunehmendem Maße die Diversifikation der minimal-invasiven operativen Versorgung spinaler Degeneration, spinalem Trauma, juveniler Skoliose und Wirbelsäulentumoren. Präoperative Simulation und intraoperative spinale Navigation sind Promotoren der Mikroinvasivität. Gebührender Respekt vor biomechanischen Strukturen erzwingt mikroinvasives Vorgehen und führt zu Veränderungen bei den chirurgischen Werkzeugen, den operativen Zugangsmodalitäten und den Prozeduren. Die richtige Auswahl der mikroinvasiven Prozedur stellt eine Herausforderung für den Chirurgen dar.

Pathologiebezogene Diversifikation operativer Strategien

Tumoren an der Wirbelsäule rechtfertigen Mittellinienzugänge mit beidseitigem Abschieben der Muskulatur, Hemi- und Laminektomien. Bei der Versorgung der Skoliose und des spinalen Traumas ermöglichen perkutane Systeme zur Stabilisierung von dorsal eine erhebliche Reduzierung des muskulären Traumas. Der Mittellinienzugang [29] kann verlassen werden [4, 6]. Ein Abschieben der Muskulatur mit Schädigung der Innervation ist nicht notwendig. Bei belebten Patienten bringe das erhebliche Vorteile, berichten Rosen et al. [23]. Spinale Navigation erleichtert die perkutane Implantation

von Pedikelschrauben auch bei der Skoliose [21]. Die Schrauben können mithilfe intraoperativer Bildgebung navigationsgestützt perkutan implantiert werden. Die spinale Navigation minimiert das Risiko der Fehlplatzierung. Sie hilft den Zugang zu verkleinern und verringert die Strahlenbelastung.

Technische Entwicklungen treiben die Mikroinvasivität in spinaler Chirurgie voran. Bei osteoporotischen Sinterungsfrakturen hat sich in den letzten 20 Jahren das minimal-invasive Verfahren der Kyphoplastie durchgesetzt [5]. Unterschieden werden substanzzerstörende (Ballonkyphoplastie) und substanzerhaltende (Radiofrequenzkyphoplastie) Verfahren. Die perkutane Vertebroplastie ist ein minimal-invasives Verfahren, welches 1984 erstmals zur Behandlung frakturgefährdender Hämangiome der Wirbelsäule beschrieben wurde [11]. Spine-Jack [18] ist ein Vertebroplastiesystem, welches Wirbelimpressionsfrakturen (Magerl A1–A3) versucht zu restaurieren, indem „Miniatürkranenheber“ im zusammengefalteten Zustand biperpedikulär in die Wirbelkörper eingebracht und intrakorporal entfaltet werden. Bei massiver Osteoporose ist die Wirbelsäule nur schwer zu korrigieren. Selbst zementaugmentierte Pedikelschrauben wandern bei Repositions- und Distraktionsmanövern durch den Knochen. Minimal-invasiv und navigationsgestützt versuchen Wirbelsäulenchirurgen die herkömmliche koaxiale Pedikelschraubenlage zu modifizieren und durch dorsoventrale Schraubenpositionierung mehr korti-

kale Strukturen zu erfassen. Perkutane Pedikelschrauben werden mit Kyphoplastien kombiniert. Oft sind selbst diese Maßnahmen nicht geeignet, um osteoporotisch geschädigte Wirbelsäulenabschnitte zu korrigieren. Andererseits ist der Wirbelkörperersatz minimal-invasiv bislang nicht zufriedenstellend gelöst. Ein einzelner Wirbelkörper kann zwar über eine verkleinerte Prozedur über eine Kostotransversektomie thorakal oder über eine Transversektomie lumbal implantiert werden, aber in den meisten Fällen muss der Wirbelkörperersatz auf transthorakalem, extraperitonealem oder gar transperitonealem Wege eingebracht werden. Gegenstand intensiver Bemühungen ist darum aktuell die Spondyloplastie, ein minimal-invasiv in den Wirbelkörper implantierbares expandierbares Stützgerüst.

Diversifikation operativer Strategien bei spinaler Degeneration

Bei der Versorgung spinaler Degeneration lassen sich pathologiebezogen die Diversifikation und Minimalisierung operativer Methoden aufgrund technischer Weiterentwicklung exemplarisch verfolgen. Insbesondere intraspinal ist Mikroinvasivität zur Reduzierung einer intraspinalen Narbe geboten. Yasargil [31] führte 1967 das Mikroskop bei Bandscheibenoperationen ein. Die Operation intraspinaler Tumore ist ohne Mikroskop nicht mehr vorstellbar. Zwanzig Jahre später waren Kambin u. Brager [14] Wegbereiter der Wirbelsäulen-

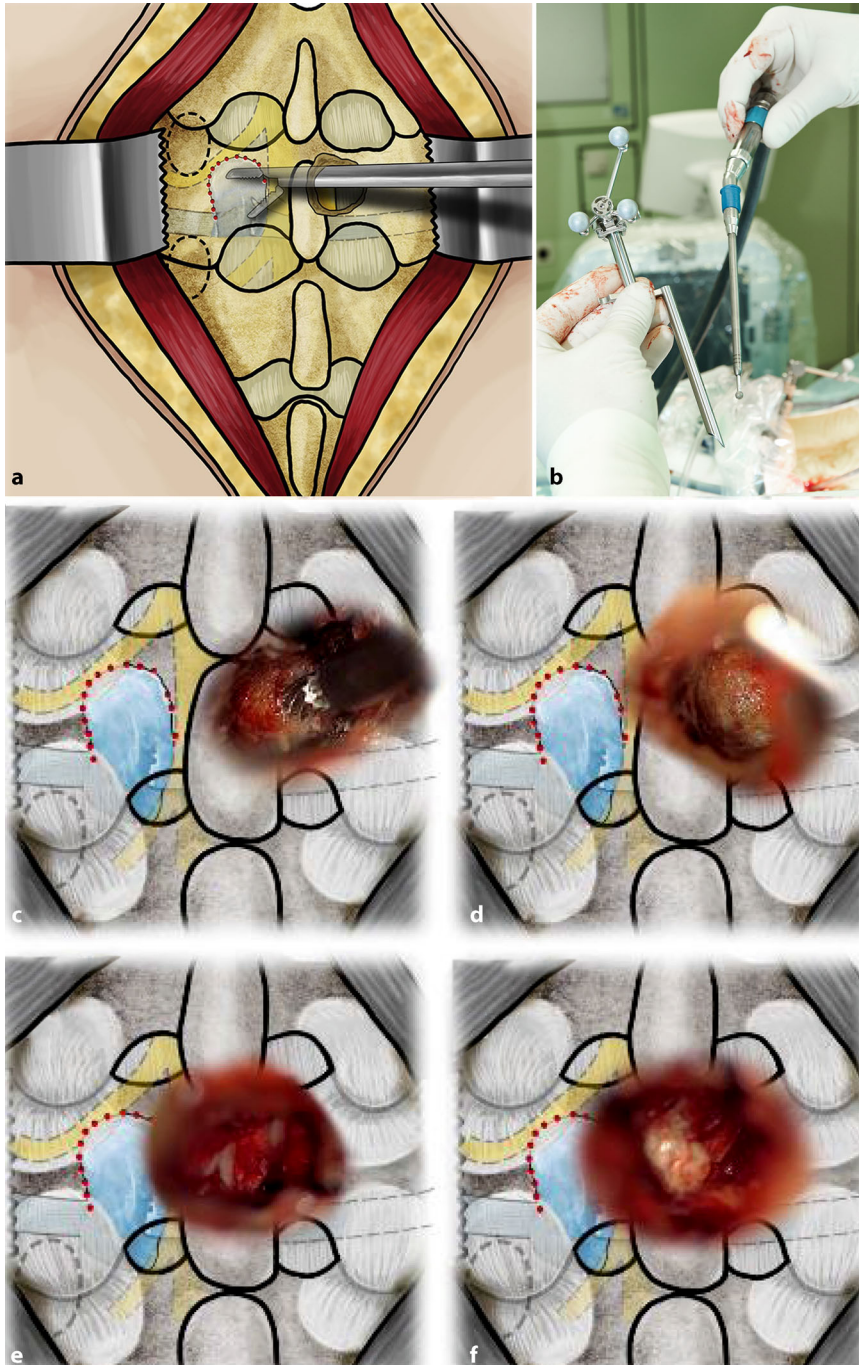


Abb. 1 ▲ Crossover-Zugang [20]. Ein nach kranial sequestrierter Rezidivbandscheibenvorfall, der in die „hidden zone“ geschlagen ist, wird über eine kontralaterale Laminotomie an der Basis des Dornfortsatzes geborgen (a). Durch den präoperativ simulierten und intraoperativ navigierten Zugangsweg kann die Hemilaminektomie vermieden werden. Durch Navigation des High-speed-Drill (b) kann ein zielgenauer knöcherner Arbeitskanal (c, d) präformiert werden, über den der Sequester (e, f) mit navigierter Endoskopie komplikationslos geborgen wird. Navigierte Endoskopie und Zugangsvariabilität sind Wegbereiter der Spondyloskopie

doskopie. Im Jahr 1982 ersann Harms die transforaminale interkorporelle Fusion; 2006 ermöglichten das Mikroskop und perkutane Systeme Holly et al. [12], die MIS-TLIF (Minimally Invasive Spine Transforaminal Lumbar Interbody Fusion) zur Versorgung lumbaler Instabilitäten einzusetzen. Die perkutane Pedikelschraube hatte Magerl [15] bereits 1982 erdacht. Technischer Fortschritt, die Modifikation von Zugangsmodalitäten und die Veränderung chirurgischer Werkzeuge gehen Hand in Hand und führen zu einer Modifikation der operativen Prozedur. Mikroinvasivität heißt nicht nur, die gleiche Prozedur minimalisiert durchzuführen, sondern verändert Prozeduren, um biomechanisch bedeutsame Strukturen zu schonen. Anatomische Strukturen zu schonen impliziert, den Zugang planvoll zu wählen und die operationstechnischen Verfahren zu minimalisieren.

Dass biomechanische Überlegungen in die präoperative Planung und in die operative Durchführung mit einbezogen werden können, setzt das Verständnis der Biomechanik voraus. Dabei müssen patientenindividuelle biomechanische Größen des zu operierenden Wirbelsäulenabschnitts präoperativ in die Operationsstrategie mit einbezogen werden. Dieses führt in letzter Konsequenz zur patientenindividuellen Therapie.

Der Einsatz des Operationsmikroskops [25, 27] in Kombination mit dem High-speed-Drill veränderte das Vorgehen bei der spinalen Degeneration.

Der Sequester kann über eine Flavotomie ohne Flavektomie geborgen werden, was die intraspinale Narbenbildung minimiert und das periradikuläre fettgewebliche Gleitlager schützt. Die lumbale Spinalkanalstenose muss nicht mehr mithilfe von Stanzen über eine erweiterte interlaminäre Fensterung versorgt werden, die bei vergrößerten Facettengelenken immer die Gefahr einer Facettotomie und einer u. U. resultierenden Instabilität in sich birgt [19]. Mithilfe des High-speed-Drills und des Mikroskops kann an der Basis des Processus spinosus begonnen werden, zunächst die zentrale Stenose zu beheben. Dann kann die gegenüberliegende rezessale Stenose im Sinne eines „undercutting“ beseitigt wer-

B. Rieger

SENDS-Kriterien als Entwicklungstheorem der MAST-Prozeduren. Einführung präoperativer Simulation

Zusammenfassung

Klinisches Problem. Die Minimal Access Spine Technology (MAST) führt zur Diversifikation operativer Prozeduren, welche eine sorgfältige Prozedurenwahl und Outcomekontrolle erfordert. Aus der Entwicklung der MAST-Prozeduren lassen sich SENDS-Kriterien ableiten, die die Prozedurenwahl einer Rationalen unterwerfen. Präoperative Simulation ist Diagnostikum und Therapeutikum gleichermaßen. Die Überprüfung der SENDS-Kriterien (Simulation – Endoskopie – Navigation – Dekompression – Stabilisierung) kann indirekt über die Outcomekontrolle des Operationsverfahrens erfolgen.

Therapeutisches Standardverfahren.

Als biomechanisch aussagekräftiges Diagnostikum des operativ zu versorgenden Wirbelsäulenabschnitts dient aktuell die Bewegungsaufnahme.

Neues Therapieverfahren. Die auf Bewegungsaufnahmen basierende präoperative

Simulation als diagnostischer und therapeutischer Bestandteil operativer Verfahrensweise hilft bei Auswahl und Durchführung der MAST-Prozedur.

Diagnostik. Für die präoperative Simulation sind Bewegungsaufnahmen in Inklination, Neutralstellung und Reklination notwendig. Die Größenverhältnisse resultieren aus der Verwendung einer Röntgenkugel oder einer CT.

Leistungsfähigkeit. SENDS-Kriterien erscheinen sinnvoll, da auf der Basis dieser Rationalen etablierte Verfahren ein vergleichbares Outcome liefern. Die präoperative Simulation erscheint als Auswahlkriterium des operationstechnischen Verfahrens geeignet.

Bewertung. Präoperativ sollen möglichst viele Patienten- und segmentindividuelle Informationen in die Indikation mit einfließen, um den Patienten individuell zu versorgen. Der Nachweis eines besseren Outcome nach

präoperativer Simulation ist noch nicht geführt. Bislang resultierten eine Abnahme der Operationsdauer und Reduzierung der intraoperativen Strahlenbelastung.

Empfehlungen für die Praxis. Bei vergleichbarem Outcome sollte die minimal-invasive Methode präferiert werden. Das Pflegen eines Wirbelsäulenregisters muss mit der Etablierung neuer Verfahren einhergehen. Minimal-invasive Operationsverfahren an der Wirbelsäule sollen patienten- und segmentindividuell durchgeführt werden. Bewegungsaufnahmen sollten für die präoperative Simulation Verwendung finden, da sich deren Informationsgehalt in Hinblick auf die MAST-Prozedur deutlich erhöht.

Schlüsselwörter

MAST · LIF · Präoperative Simulation · Spinale Navigation · Biokinemetrie

SENDS criteria from the diversification of MAST procedures. Implementation of preoperative simulation

Abstract

Cinical issue. Minimal access spinal technologies (MAST) lead to a diversification of surgical procedures, which requires careful selection of the procedure and outcome monitoring. For a rational selection of the procedure simulation, endoscopy, navigation, decompression and stabilization (SENDS) criteria can be derived from the development of the MAST procedures. Preoperative simulation has diagnostic and therapeutic values. The SENDS criteria can be verified indirectly via outcome control.

Standard treatment. Biomechanically meaningful diagnostic x-rays of the spinal segment to be surgically treated are currently carried out with the patient in inclination and reclination.

Treatment innovations. Software-related preoperative simulation based on these

x-ray images facilitates the selection and implementation of the MAST procedure.

Diagnostic work-up. For preoperative simulation motion shots are needed in inclination, neutral position and reclination and the dimensions can be obtained using an x-ray ball or a computed tomography (CT) scan.

Performance. The SENDS criteria are useful because established procedures based on these criteria reach a comparable outcome. Preoperative simulation appears to be a useful selection criterion.

Achievements. Preoperatively it is necessary to collate patient and segment information in order to provide each patient with individualized treatment. So far there is no evidence for a better outcome after preoperative simulation but a reduction of

surgery time and intraoperative radiation exposure could already be demonstrated.

Practical recommendations. Minimally invasive methods should be preferred if there is a comparable outcome. The establishment of new procedures has to be accompanied by the maintenance of a spine register. Minimally invasive surgical procedures should be individualized for each patient and segment. Mobility X-ray images should be prepared for use with the preoperative simulation as the information content significantly increases with respect to the MAST procedure.

Keywords

Minimal access spinal technology · Lumbar interbody fusion · Preoperative simulation · Spinal navigation · Biokinematics

den, und die ipsilaterale rezessale Stenose wird abschließend unter Schonung des Facettengelenks gelöst. Die „hidden zone“ (Abb. 1), der intraspinalen Bereich medial des Pedikels, kranial des Neuroforamens, welcher am schwersten chi-

rurgisch zu explorieren ist, kann über ein translaminares Crossover bequem erreicht werden und bleibt dem Chirurgen nicht mehr verborgen [20].

SENDS-Kriterien

Um das pathologiebezogene und patientenindividuelle operative Vorgehen zu wählen, bedarf es einer Rationalen. Sie hilft, bei der Vielzahl

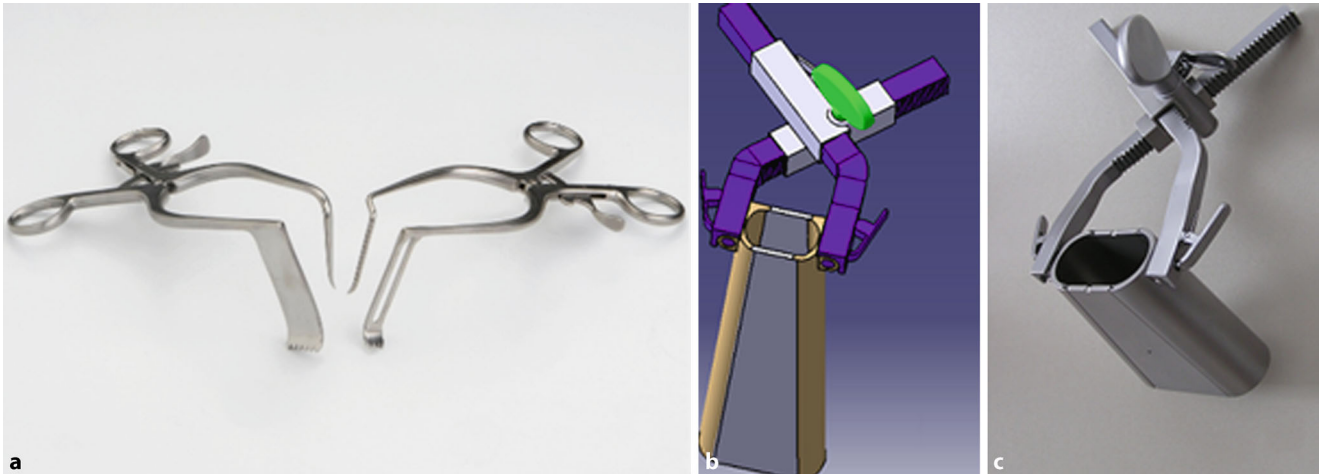


Abb. 2a–c ▲ Evolution chirurgischer Werkzeuge. (Mit freundl. Genehmigung von i-peggo [UG], 50226 Frechen)

der mikroinvasiven Prozeduren eine Wahl zu treffen. Die SENDS-Kriterien (Simulation – Endoskopie – Navigation – Dekompression – Stabilisierung) leiten sich von der Prämisse „Respektieren der Biomechanik“ ab, und die auf diese Kriterien basierende Methodenwahl wird durch Outcomekontrollen der neu etablierten Methoden fortwährend überprüft:

- **S Simulation:** Präoperativ müssen so viele Informationen über die Biomechanik der erkrankten Wirbelsäule bekannt werden als möglich. Diese Informationen helfen dabei, die operative Strategie zu entwickeln und einer Rationalen zu unterwerfen, die die Indikation erhärtet und bei der Auswahl des adäquaten Operationsverfahrens hilfreich ist.
- **E Endoskopie (Spondyloskopie):** Die Endoskopie oder die endoskopische Assistenz steht für die Intention, die Operation so minimalistisch wie möglich durchzuführen, um den Schaden für anatomische Strukturen so gering wie möglich zu halten. Es ist derzeit technisch noch nicht möglich, alle Operationen im Bereich spinaler Erkrankungen endoskopisch zu lösen, doch ist die Wirbelsäulendoskopie technischer Ausdruck dessen, was aus notwendigem Respekt vor der biomechanischen Unversehrtheit des Bewegungsorgans resultiert.
- **N Navigation:** Die spinale Navigation ist unbedingte Voraussetzung für

die beschriebenen operationstechnischen Neuerungen. Die spinale Navigation birgt zudem den Vorteil, die intraoperative Strahlenbelastung zu reduzieren.

- **D Dekompression:** Originäre Aufgabe des Neurochirurgen bei der operativen Behandlung ist die effektive und funktionelle Dekompression neuraler Strukturen.
- **S Stabilisierung:** Originäre Aufgabe des Neurochirurgen ist zudem, neurale Strukturen zu schützen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Biomechanik des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts zerstört ist. In vielen Fällen führt dies zu notwendigen stabilisierenden Maßnahmen. Im Idealfall wird versucht, die zerstörte Biomechanik wiederherzustellen. Dieses Ideal kann aber nur mit Implantaten erreicht werden, welche die Biomechanik korrekt nachbilden. Steht ein derartiges Implantat nicht zur Verfügung, bleibt in vielen Fällen nur die rigide Stabilisierung des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts.

Evolution der Prozeduren aufgrund intendierter Minimal-Invasivität

Durch den Einsatz von Operationsmikroskopen war es möglich, die konventionellen Mittellinienzugänge an der Wirbelsäule von dorsal deutlich zu verkleinern. Durch geringe Modifikationen an

den sich an der Mittellinie abstützenden Retraktoren (■ **Abb. 2a**) konnte der Zugang bei der konventionellen Bandscheiben- oder Stenoseoperation bereits halbiert werden.

Der Mittellinienzugang bewirkt durch die Schädigung der thorakolumbalen Faszie einen Stabilitätsverlust und durch die Durchtrennung der Muskelansätze eine Schädigung der Muskulatur. Der paraspinale Zugang nach Wiltse [30] erscheint diesbezüglich von Vorteil. Konventionelle Spreizersysteme bewirken durch langen Druck in der Muskulatur eine Ischämie. Aus der Schädigung des Ramus posterior resultiert eine Muskela-trophie. Faubert und Caspart berichteten erstmals 1991 davon, über einen tubulären „Retraktor“ den Bandscheibenraum erreicht zu haben [8]. Diese Tubuli eignen sich dafür, die Mittellinie zu verlassen und über den Wiltse-Zugang [30] zu operieren. Trotz ersten Anscheins von Plausibilität setzen sich tubuläre Sperrer nicht durch, weil sie am Operationstisch festgemacht werden müssen, damit sie nicht aus dem Operationszugangsweg dislozieren. Zudem engen sie die Bewegungsfreiheit auf den tubulären Bereich ein. Moderne Werkzeuge für den Zugang an der Wirbelsäule sind Systeme, die einen vollumwandeten Zugang schaffen und einen nach unten offenen ovalären Trichter bilden (■ **Abb. 2b, c**). Dadurch dislozieren sie nicht und müssen nicht am Tisch fixiert werden.

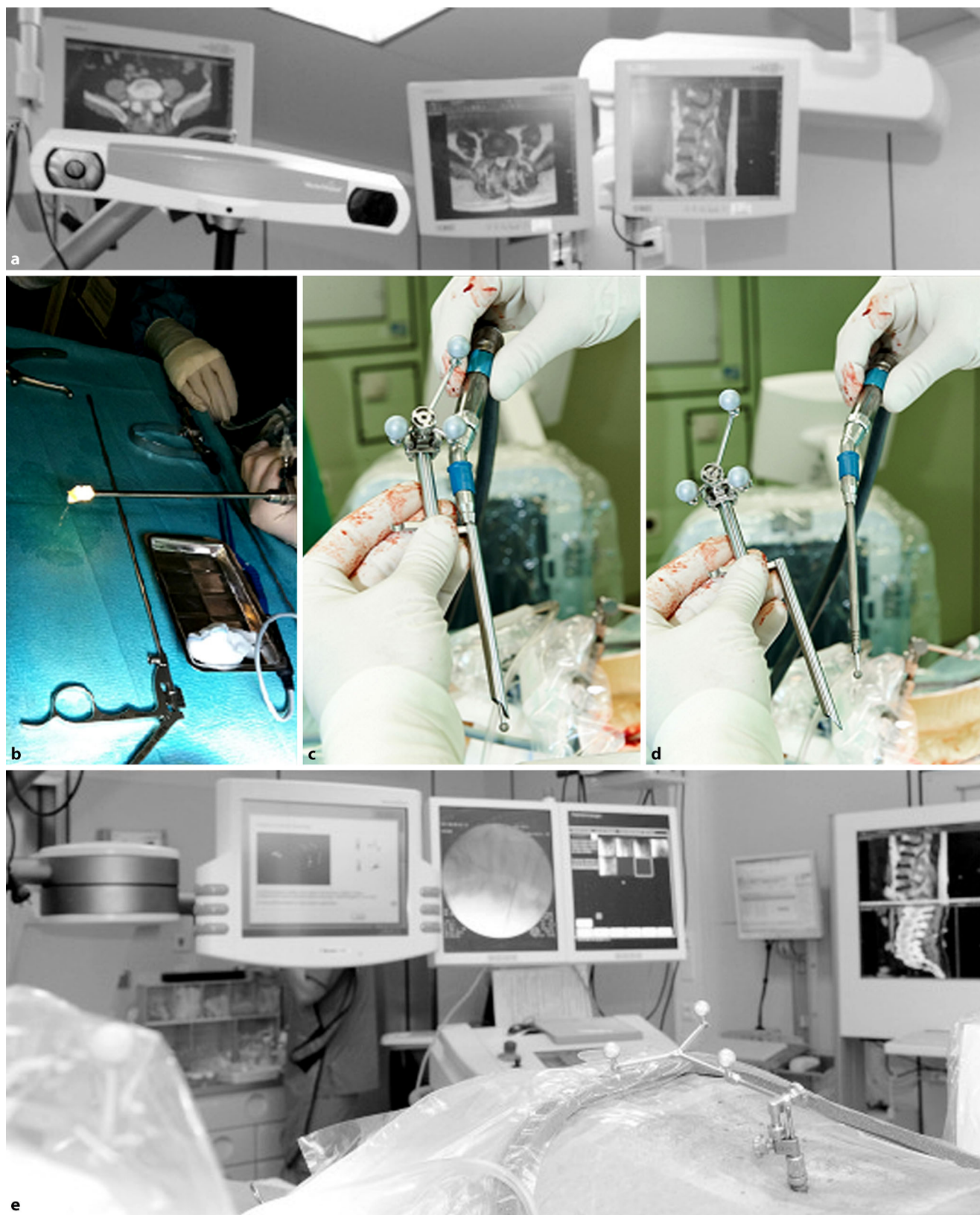


Abb. 3 ▲ Navigierte Endoskopie. (Mit freundl. Genehmigung der Arbeitsgruppe Prospective Spine)

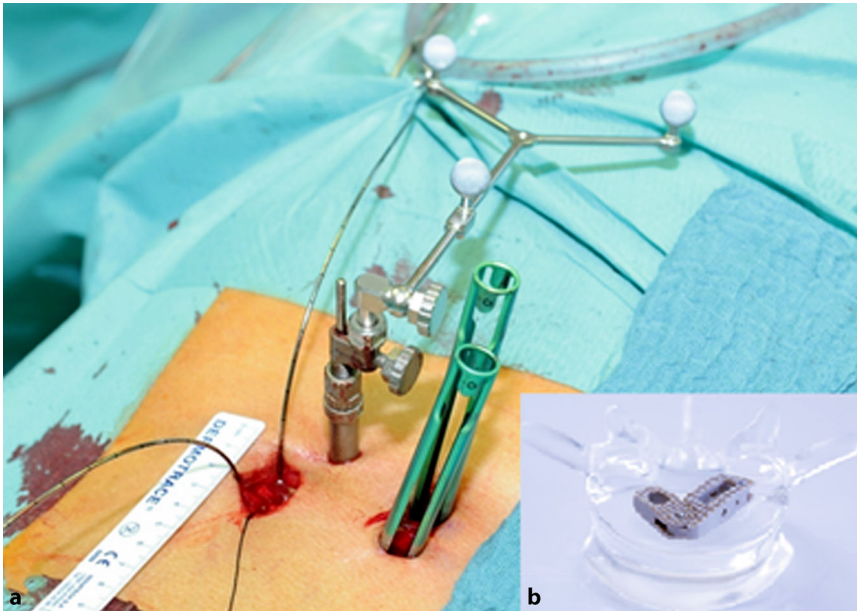


Abb. 4 ▲ Minimal-invasive hybrid-lumbale interkorporelle Fusion (MIS-HLIF [21]) (a). Der Cage der Hybrid-LIF besitzt ein Gelenk (b)

Endoskopie

Foley u. Smith [10] haben 1997 das Wirbelsäulenendoskop eingeführt. Prinzipiell wäre das Endoskop (■ Abb. 3b: endoskopische Sequestrektomie) das ideale Instrument, um minimale Eingriffe an der Wirbelsäule durchzuführen. Nach nunmehr fast 20 Jahren des klinischen Einsatzes bleibt das Wirbelsäulenendoskop immer noch wenigen ausgewählten Pathologien und der erfahrenen Hand vorbehalten. Die Lernkurve ist sehr flach, und signifikant hohe Durotomien schmäleren die initial sehr hohe Popularität der Wirbelsäulenendoskopie [17].

Das Argument derer, die für das Wirbelsäulenendoskop plädieren, dass es in der geübten Hand ein wunderbares Instrument sei [7], widerspricht dem prinzipiellen Ansinnen, dass eine chirurgische Prozedur einfach zu sein hat und leicht erlernbar sein muss.

Bei fortgeschrittener Degeneration bereitet die neuroforaminale Stenose der Endoskopie erhebliche Probleme. Das grundsätzliche technische Problem ist, dass die endoskopischen Fräsen keine High-speed-Drills sind, weil sie im Endoskop durch Reibung zuviel Hitze entwickeln würden. Mit Umdrehungen von 5000/min kann man in angemessener Zeit keine ausreichende knöcherne

Dekompression erzielen. Zwar gelingt mit den gegenwärtigen technischen Mitteln die foraminale und interlaminäre Dekompression – aber nur mit außerordentlichem technischem und zeitlichem Aufwand. Die technische Erweiterung des navigierbaren Spendyloskops (■ Abb. 3a, e: operatives Setting) ermöglicht die High-speed-Dekompression neuraler Strukturen unter endoskopischer Assistenz (■ Abb. 3c, d).

Stabilisierung

Die Involution der Bandscheiben beginnt schon gegen Ende des Wachstumsalters. Die Segmenthöhe nimmt ab und es kommt zur Subluxation an den Wirbelgelenken, zur Pseudospondylolisthesis und konsekutiven Spinalkanalstenose. Oft bleibt nur die rigide Stabilisierung des betroffenen Wirbelsäulensegments als schmerzlindernder Eingriff. Viele Verfahren sind beschrieben, um die Stabilisierung eines lumbalen Bewegungssegments herbeizuführen. Magerl [15] hat 1982 die perkutane Pedikelschraube beschrieben. Alle pedikelschraubenbasierten perkutanen minimal-invasiven (MIS) Verfahren leiten sich davon ab:

- MIS-PLIF (posteriore lumbale interkorporelle Fusion) 2002,
- MIS-TLIF (transforaminale lumbale interkorporelle Fusion) 2006,

- MIS-HLIF (hybrid-lumbale interkorporelle Fusion) 2011.

Eine suffiziente Dekompression aller neuronalen Strukturen des betroffenen Bewegungssegments muss erzielt werden, ein ausreichendes Release muss geschaffen werden, und Retraktions-, Distraktions- und Kompressionsmanöver müssen möglich sein und dies auf minimalen Wege. MIS-ALIF (anteriore lumbale interkorporelle Fusion [16], 1995), XLIF (extrem laterale interkorporelle Fusion (1998) und AxialLIF (2004) erscheinen zugangsbedingt nicht geeignet, um alle diese Erfordernisse zu erfüllen.

Interspinöse Spreizer [2] erschienen anfangs wirkungsvoll, weil sie die segmentalen Bandstrukturen straffen, den intraspinalen Raum erweitern und dadurch zunächst zu einer Schmerzlinderung führen. Dieses wird aber um den Preis einer Verschlechterung der sagittalen Balance erkauft, und der Spreizmechanismus widerstrebt der dorsalen Zuggurtung und ist nach biomechanischen Kriterien widersinnig.

MIS-TLIF und MIS-PLIF basierend auf perkutanen Pedikelschrauben sind darum die operativen Verfahren, die am weitesten verbreitet sind. Die MIS-PLIF muss beide Seiten öffnen, kann dafür die suffiziente Dekompression beider Rezesus gewährleisten. Die MIS-TLIF hingegen kommt von paramedian, öffnet nur eine Seite, kann aber den gegenüberliegenden Recessus nicht gut erreichen und das gegenüberliegende Wirbelgelenk zum Zwecke des Release nicht öffnen.

MIS-HLIF

Die minimal-invasive hybrid-lumbale interkorporelle Fusion (MIS-HLIF [21]) versucht, die Vorteile der posterioren und der transforaminalen lumbalen interkorporellen Fusion miteinander zu verknüpfen (■ Abb. 4a, b). Sie nutzt präoperative Simulation zur Bestimmung der optimalen Cagehöhe (■ Abb. 5) zur Verbesserung der sagittalen Balance und die intraoperative Bildgebung für variante Pedikelschraubenplatzierung. Der Cage der Hybrid-LIF besitzt ein Gelenk, damit er nach Facettotomie zunächst ge-

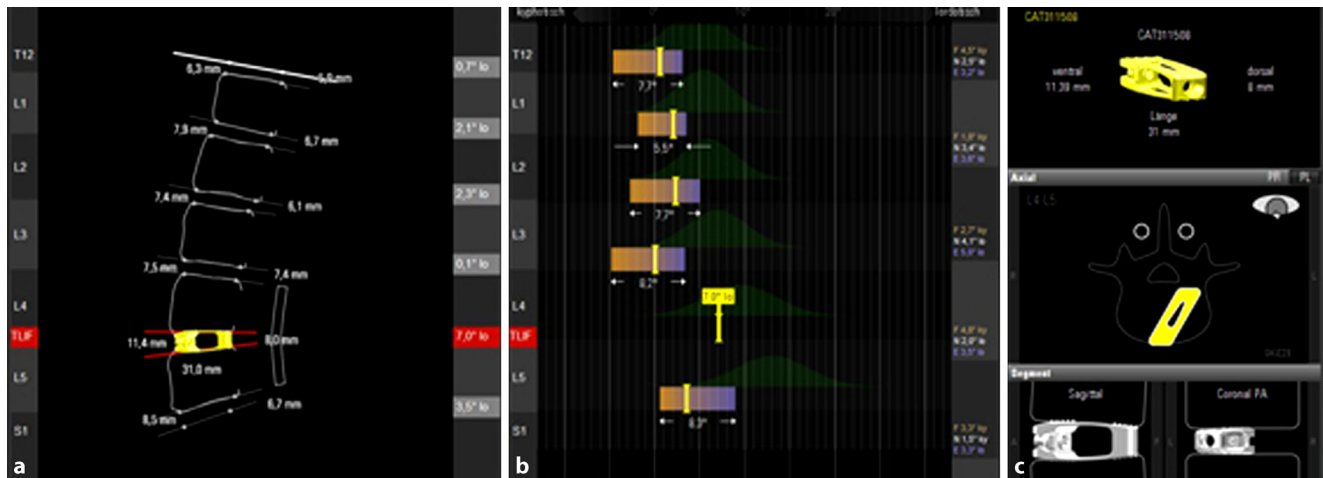


Abb. 5 **a** Simulation des postoperativen Zustandes präoperativ. **b** Berechnung der sagittalen Balance. **c** Darstellung der optimalen device-Höhe. (Mit freundl. Genehmigung von Spontech Spine GmbH, 70182 Stuttgart)

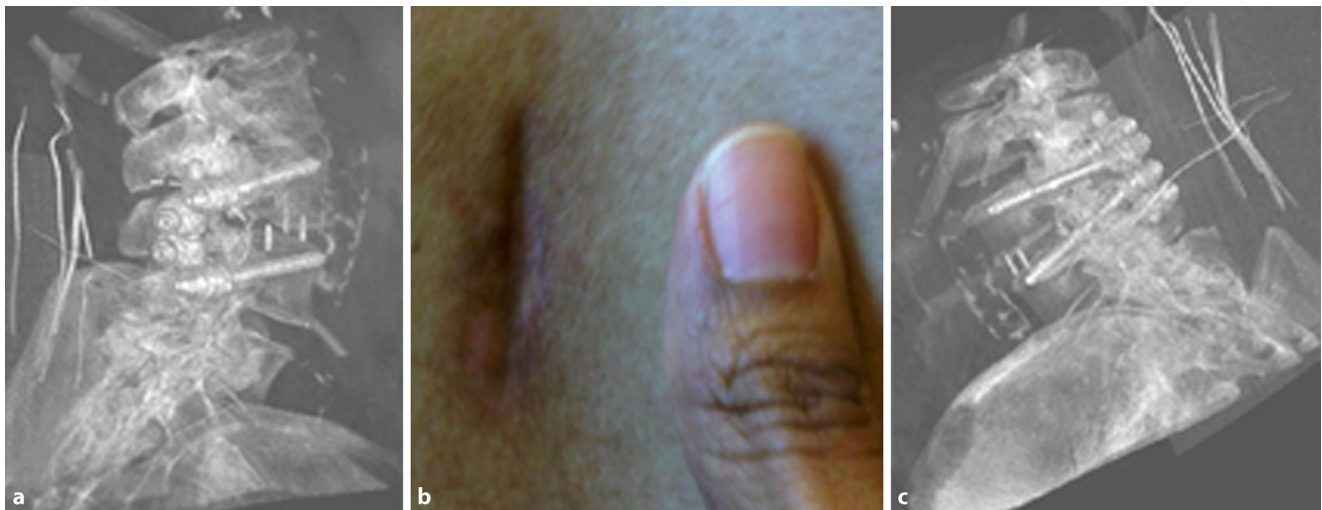


Abb. 6 **a** Minimal-invasive Vektor-lumbale interkorporelle Fusion (MIS-VLIF). Fixateur (**a**, **c**) und Schnittführung (**b**) (Mit freundl. Genehmigung der Arbeitsgruppe Prospective Spine)

streckt oblique eingeführt werden kann. Im Bandscheibenfach stützt er sich am vorderen Längsband beim Einschlagen ab, knickt dann um und transformiert zur triangulären ventralen Abstützung (**Abb. 4b**), was die Gefahr der Cagedislokation minimiert.

Betrachtet man **Abb. 4a**, sieht man eine minimal-invasive chirurgische Prozedur, die Inzisionen in nahem Abstand propagiert. Eine derartige Schnittführung widerspricht jeder chirurgischen Erziehung. Die chirurgische Anforderung, die an die technische Weiterentwicklung eines minimal-invasiven Stabilisierungsverfahrens zu stellen wäre, ist, das Verfahren auf einen „single port“ (minimaler einseitiger und einziger Zugang [28])

zu beschränken und die Prozedur nach Möglichkeit endoskopisch durchzuführen.

MIS-VLIF

Gegenstand einer klinischen Machbarkeitsstudie ist darum, die minimal-invasive Vektor-lumbale interkorporelle Fusion (MIS-VLIF [6]), eine präoperativ simulierte, intraoperativ navigierte lumbale Dekompression und spinale Stabilisierung, über einen „single port“ zu testen. Eine Röntgenkugel oder über CT-Korrelation bemaßte Bewegungsaufnahmen in Inklination, Neutralstellung und Reklination dienen der präoperativen Software, um eine biokinetographische Un-

tersuchung (**Abb. 5a**) des zu versorgenden Wirbelsäulenabschnitts zu simulieren. Die biokinetischen Analysedaten werden mit dem Wissen um die sagittale Balance verknüpft (**Abb. 5b**), sodass die Software z. B. die Ausmaße des Cages (**Abb. 5c**) vorschlägt, der zur Fusion des Segments implantiert werden soll.

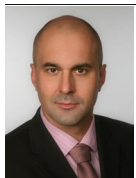
Um eine lumbale Stabilisierung eines Bewegungssegments über einen „single port“ zu ermöglichen, resultiert die technische Anforderung, einen anderen Fixateur interne (**Abb. 6a, c**) zu entwickeln.

Ziel ist die Stabilisierung eines lumbalen Segments auf spondyloskopischem Weg über einen Single-port-Zugang. Nach knöcherner Fusion des Segments wird der Fixateur über eine kleine chir-

urgische Prozedur zur Senkung der Materiallast wieder entfernt.

Die Diversifikation operativer Prozeduren ist im Bereich der Halswirbelsäule sehr weit gediehen. Traumen werden mit offenen Prozeduren versorgt. Im Bereich der Degeneration wird immer wieder aufs Neue diskutiert, ob der Zugang von vorne (Robinson u. Smith 1955 [22] sowie Cloward 1958 [3]) oder von hinten im Sinne einer Foraminotomie [1, 9] nach Frykholm erfolgen sollte. Im Jahre 2000 haben Roh et al. [24] den „endoskopischen Frykholm“ an Präparaten beschrieben. Bereits ein Jahr später hat Adamson ihn in den klinischen Alltag eingeführt. Plausibel erscheint, dass das einem fusionierten benachbarte Segment durch resultierende Mehrarbeit schneller verschleißt. Die häufigste Prozedur und die Antwort auf mehrere Pathologien sind die ventrale Diskektomie und Fusion. Dabei benützen wir den von Cloward beschriebenen Zugang und die von Robinson und Smith empfohlene komplette Diskektomie. Unter biomechanischen Aspekten erscheint es nicht akzeptabel, eine Bandscheibe eines Sequesters wegen zu opfern. Jho [13] hat die Foraminotomie von vorne bereits 1996 beschrieben, um darüber eine Sequestrektomie durchzuführen. Gegenstände klinischer Forschung sind daher aktuell die endoskopisch assistierte spondyloskopische Sequestrektomie und Foraminotomie.

Korrespondenzadresse



Dr. B. Rieger

Klinik und Poliklinik
für Neurochirurgie,
Universitätsklinikum Carl
Gustav Carus
Fetscherstraße 74,
01307 Dresden, Deutschland
biokinemetrie@gmail.com

Danksagung. Den Mitwirkenden an der Arbeitsgruppe Prospective Spine Th. Haas, Dr. W. Polanski, Dr. D. Rueß, Dr. M. Molcany PhD, Dr. C. Reinshagen gebührt Dank für ihre unermüdliche Mitarbeit, Fr. Prof. Dr. med. Gabriele Schackert für ihre großartige Unterstützung bei der Entwicklung neuer operationstechnischer Verfahren in der Wirbelsäulenchirurgie.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. B. Rieger gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor. Für das spinale Register Spine-Tango liegt zudem ein positives Ethik-Votum vor.

Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

Literatur

1. Caglar YS et al (2007) Keyhole approach for posterior cervical discectomy. *Minim Invasive Neurosurg* 50:7–11
2. Chiu JC (2006) Interspinous process decompression (IPD) system (X-STOP) for the treatment of lumbar spinal stenosis. *Surg Technol Int* 15:265–275
3. Cloward RB (1958) The anterior approach for removal of ruptured cervical discs. *J Neurosurg* 15:602–617
4. Cragg A et al (2004) New percutaneous access method for minimally invasive anterior lumbarosacral surgery. *J Spinal Disord Tech* 17:21–28
5. De Negri P et al (2007) Treatment of osteoporotic or traumatic vertebral compression fractures by percutaneous vertebral augmentation procedures: a nonrandomized comparison between vertebroplasty and kyphoplasty. *Clin J Pain* 23:425–430
6. Dettmar-Rieger J (2013) Deutsches Marken- & Patentamt. DE 102011119646 A1 DMPA
7. Epstein NE (2009) Minimally invasive/endoscopic vs “open” posterior cervical laminoforaminotomy: do the risks outweigh the benefits? *Surg Neurol* 71:330–331
8. Faubert C, Caspar W (1991) Lumbar percutaneous discectomy. Initial experience in 28 cases. *Neuroradiology* 33:407–410
9. Fehlings MG, Gray RJ (2009) Posterior cervical foraminotomy for the treatment of cervical radiculopathy. *J Neurosurg Spine* 10:343–346
10. Foley KT, Smith MM (1997) Microendoscopic discectomy. *Tech Neurosurg* 3:301–307
11. Galibert P et al (1987) Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. *Neurochirurgie* 23:166–168
12. Holly LT et al (2006) Minimally invasive transforaminal interbody fusion: indications, technique, and complications. *Neurosurg Focus* 20(3):E6
13. Jho HD (1996) Microsurgical anterior cervical foraminotomy for radiculopathy: a new approach to cervical disc herniation. *J Neurosurg* 84:155–160
14. Kambin P, Brager M (1987) Percutaneous posterolateral discectomy: anatomy and mechanism. *Clin Orthop Relat Res* 223:145–154
15. Magerl F (1982) External skeletal fixation of the lower thoracic and lumbar spine. In: Stahl HK, Stahl E (Hrsg) *Current concepts of external fixation of*

fractures. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, S 353–366

16. McAfee PC et al (1998) Minimally invasive anterior retroperitoneal approach to the lumbar spine. Emphasis on the lateral BAK. *Spine* 23:1476–1484
17. McLoughlin GS, Fournay DR (2008) The learning curve of minimally-invasive lumbar discectomy. *Can J Neurol Sci* 35:75–78
18. Noriega D et al (2015) Clinical outcome after the use of a new craniocaudal expandable implant for vertebral compression fracture treatment: one year results from a prospective multicentric study. *Biomed Res Int* 2015:927813 (<http://dx.doi.org/10.1155/2015/927813>)
19. Palmer S et al (2002) Bilateral decompression of lumbar spinal stenosis involving a unilateral approach with the microscope and tubular retractor system. *J Neurosurg* 97(2 Spine Suppl):213
20. Reinshagen C et al (2015) A novel translaminar crossover approach for pathologies in the lumbar hidden zone. *Clin Neurosci* 22(6):1030–1035
21. Reinshagen C et al (2015) A novel minimally invasive technique for lumbar decompression, realignment and navigated interbody fusion. *J Clin Neurosci* 22(9):1484–1490
22. Robinson RA, Smith GW (1955) Anterolateral cervical disc removal and interbody fusion for cervical disc syndrome. *Bull Johns Hopkins Hosp* 96:233
23. Rosen DS et al (2008) Obesity and self-reported outcome after minimally invasive lumbar spinal fusion surgery. *Neurosurgery* 63:956–960
24. Roh SW et al (2000) Endoscopic foraminotomy using MED system cadaveric specimens. *Spine* 25:260–264
25. Sandhu FA, Santiago P, Fessler RG, Palmer S (2004) Minimally invasive surgical treatment of lumbar synovial cysts. *Neurosurgery* 54:107–111
26. Styf JR, Willén J (1998) The effects of external compression by three different retractors. *Spine* 23(3):354–358
27. Sukkarieh H et al (2015) Minimally invasive resection of lumbar intraspinal synovial cysts via a contralateral approach: review of 13 cases. *J Neurosurg Spine*. (Am 26.06.2015 online publiziert)
28. Vaidya R (2010) US2010/0280554 A1
29. Williams RW (1978) Microcolumnar discectomy: a conservative surgical approach to the virgin herniated lumbar disc. *Spine* 3:175–182
30. Wiltse LL, Spencer CW (1988) New uses and refinements of the paraspinal approach to the lumbar spine. *Spine* 13:696–706
31. Yaşargil MG (1977) Microsurgical operation of herniated lumbar disc. *Adv Neurosurg* 4:81